

การวิเคราะห์หัวเชื่อมอิเล็กทรอนิกส์ภายใต้สภาวะการใช้งาน Analysis of Bonding Electrode under the Operating Condition

สุภาพร ศิริเล็ก, ภัทรพันธ์ ทมาตรแก้ง, ณัฏฐา จันโส และ กิรติ สุลักษณ์ *

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง นครราชสีมา 30000

*ติดต่อ: Email: keerati@sut.ac.th โทร. 044-224410, 044-224235 โทรสาร 044-224613

บทคัดย่อ

การเชื่อมวงจรของบัตรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ส่วนใหญ่ใช้หัวเชื่อมอิเล็กทรอนิกส์ ทำงานโดยอาศัยการกดปลายหัวเชื่อมลงบนเส้นลวดวงจรซึ่งทำจากทองแดงให้ติดเข้ากับแผ่นไมโครชิป จากนั้นปล่อยพลังงานไฟฟ้าให้ไหลผ่านหัวเชื่อม ผลจากความต้านทานในเนื้อโลหะที่ใช้ทำหัวเชื่อมจะทำให้เกิดความร้อนจนหลอมเส้นลวดวงจรเข้าติดกับแผ่นไมโครชิปดังกล่าว งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของแรงกดและความร้อนที่มีต่อการใช้งานและความเสียหายของหัวเชื่อมอิเล็กทรอนิกส์ การศึกษาใช้การจำลองด้วยซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์การกระจายความเค้นและความร้อน ผลการจำลองพบความเค้นสูงสุดขนาด 8.2689 MPa เกิดที่บริเวณปลายหัวเชื่อม ดังนั้นการกดอัดในขณะที่เชื่อมจึงไม่ทำให้หัวเชื่อมเกิดการเสียรูปอย่างถาวร จากการวิเคราะห์อุณหภูมิพบว่าค่าสูงสุดเท่ากับ 852.64 °C ที่บริเวณปลายหัวเชื่อม ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวมีค่าสูงกว่าค่าสภาพ Solderability (390 °C) และต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของลวดวงจร (1083 °C) ตามลำดับ ดังนั้นการเชื่อมจึงเกิดขึ้นในขณะที่ลวดวงจรเกิดการอ่อนตัวแต่ยังไม่หลอมเหลวจนเสียสภาพ

คำสำคัญ หัวเชื่อมอิเล็กทรอนิกส์, บัตรอิเล็กทรอนิกส์, ไฟไนต์เอลิเมนต์, การเชื่อม, ความเค้น

Abstract

Bonding Electrode uses for electronic cards circuit welding. Bonding Electrode is compressed on copper wire circuit. After that, heat energy from electric energy releasing is used to melt copper wire circuit with electronic chips. This research presents the effects of pressing force and heating load on usability and damage of Bonding Electrode. I used computer simulation by using Finite element Software for static stress and thermal stress distributed. The results of computer simulation found that the maximum stress was about 8.2689 MPa at the end of Bonding Electrode. Therefore, pressing force during welding not occurs fracture and permanent deformation. Moreover, the analysis of temperature found that the maximum temperature was about 852.64 °C and it occurred at the end of Bonding Electrode that was higher than solderability state (390 °C) but it was lower than melting point of copper wire (1083 °C). So, welding occurs while copper wire circuit is weakened but it not loses state to melting.

Keywords: Bonding Electrode, Electronic cards, Finite element, Welding, strength

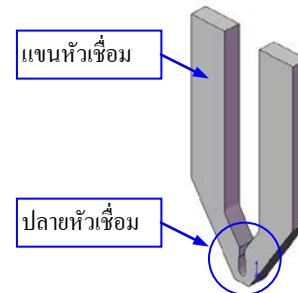
CST-38

1. บทนำ

ปัจจุบันการผลิตบัตรอิเล็กทรอนิกส์ อาทิ บัตรสมาร์ทการ์ด บัตรพนักงาน ใช้หลักการ RFID อาศัยการเชื่อมวงจรเส้นลวดทองแดงขนาดเล็กที่ขุดอยู่ในแผ่นวัสดุ ซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ สำหรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ เข้ากับ แผ่นไมโครชิป ซึ่งทำหน้าที่เก็บข้อมูล การเชื่อมเป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยความแม่นยำเพื่อให้ได้ชิ้นงานตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด หลักการเชื่อมจะใช้ปลายหัวเชื่อมอิเล็กทรอนิกส์เส้นลวดวงจรให้ติดกับแผ่นไมโครชิปบนตำแหน่งที่ต้องการเชื่อม จากนั้นให้กำลังไฟฟ้าแก่หัวเชื่อมเพื่อให้หัวเชื่อมร้อนจนสามารถหลอมเส้นลวดให้ติดเข้ากับแผ่นไมโครชิป ดังนั้น หัวเชื่อมจึงต้องมีคุณสมบัติและถูกออกแบบเป็นพิเศษเพื่อรองรับภาระกรรมจากแรงกดและความร้อนสูงขณะเชื่อมได้ โดยทั่วไปหัวเชื่อมมักทำจากทังสเตน เพราะมีความแข็งแรงและทนความร้อนได้สูง ทังสเตนแผ่นหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร จะถูกนำไปตัดให้มีรูปทรงตามที่ต้องการ โดยพื้นที่หน้าตัดในแต่ละช่วงมีขนาดไม่เท่ากัน บริเวณปลายมีพื้นที่หน้าตัดเล็กที่สุด เพื่อต้องการให้มีความต้านทานไฟฟ้าสูงที่สุด(พื้นที่หน้าตัดเล็กมีความต้านทานไฟฟ้ามากกว่าพื้นที่หน้าตัดใหญ่) ดังแสดงในรูปที่ 1 เมื่อปล่อยกระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้าให้ไหลผ่านหัวเชื่อม กำลังไฟฟ้าขนาด $P=I^2R$ วัตต์ จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนจากผลของความต้านทานในเนื้อวัสดุ ส่งผลให้บริเวณปลายหัวเชื่อมซึ่งมีความต้านทานสูง มีความร้อนสูงจากการใช้งานจริงพบว่าหัวเชื่อมที่ใช้เชื่อมประมาณ 2,000 ครั้งจะถูกเปลี่ยนออก เพราะผิวหน้าของปลายหัวเชื่อมจะสึกกร่อนจนไม่สามารถใช้เชื่อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้ศึกษาสภาพการใช้งานของหัวเชื่อมอิเล็กทรอนิกส์ การศึกษาใช้การจำลองปัญหาเพื่อวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่สำคัญของการถ่ายเทความร้อนของระบบ ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปป้อนให้กับซอฟต์แวร์ด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อวิเคราะห์สภาพ

ความเค้นและการกระจายความร้อนที่เกิดขึ้นบนหัวแท่ง เชื่อม ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับชิ้นงานจริง ซึ่ง จะนำไปสู่ความเข้าใจสภาพการใช้งานของหัวเชื่อมได้ดีขึ้น อันนำไปสู่การออกแบบหัวเชื่อมที่เหมาะสมและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ซึ่งช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้



รูปที่ 1 รูปทรงของหัวเชื่อมที่จะถูกวิเคราะห์

2. การดำเนินงานและผลการดำเนินงาน

2.1 คุณสมบัติของวัสดุและคุณลักษณะการใช้งานของหัวเชื่อม

ตารางที่ 1 สมบัติของวัสดุและสภาพการใช้งานของหัวเชื่อม

Material	Tungsten
Density	19,000 kg/m ³
Elastic modulus	1.24×10 ¹¹ N/m ²
Poisson's ratio	0.28
Shear modulus	1.6×10 ¹¹ N/m ²
Tensile strength	3.1×10 ¹¹ N/m ²
Thermal expansion coefficient	5×10 ⁻⁶ K ⁻¹
Thermal conductivity	200 W/mK
Specific heat	130 J/kgK
Melting point	3,480°C
Emissivity	0.07
Surface area	201 mm ²
Electrical power	I _{RMS} =173 A, V _{RMS} = 0.8 V

CST-38

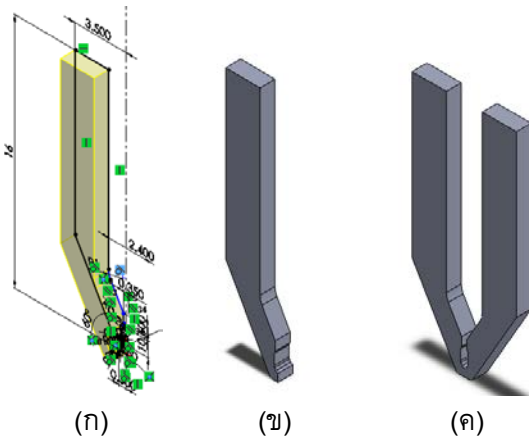
supplied	
Applied load	2 N normal load applied

ตารางที่ 2 สมบัติของวัสดุและสภาพการใช้งานของ
ลวดวงจร

Material	Grade 1 Self Bonding Polyurethane Enameled $\emptyset$ 0.112 mm Copper Wire "S180"
Melting Point	1083.4 $\pm$ 0.2 $^{\circ}$ C
Yield strength	2.58646 $\times 10^8$ N/m 2
Poisson's ratio	0.33
Shear modulus	4.1 $\times 10^{10}$ N/m 2
Density	8,900 kg/m 3
Thermal Conductivity	390 W/mK
Solderability	390 $\pm$ 5 $^{\circ}$ C with dipping time of 2 sec

2.2 การขึ้นรูปแท่งหัวเชื่อม

หัวเชื่อมถูกขึ้นรูปโดยใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์
ด้วยขนาดและมิติตามจริง



รูปที่ 2 (ก) ขึ้นรูปด้วยขนาดและมิติตามจริง
(ข) โดเมนครึ่งสมมาตร
(ค) หัวเชื่อมขนาดเต็ม

2.3 ค่าเงื่อนไขสำหรับการวิเคราะห์ความเค้นและ อุณหภูมิ

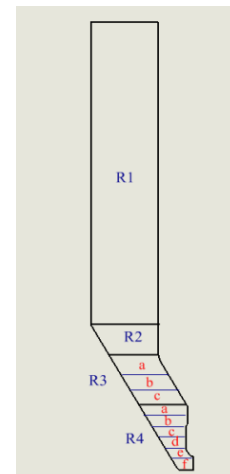
หัวเชื่อมมีพลังงานไฟฟ้าไหลผ่านพื้นที่หน้าตัด
ของหัวเชื่อมที่มีขนาดไม่เท่ากัน ก่อให้เกิดความร้อน
จากผลของความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดกับเนื้อวัสดุด้วย
ขนาดเท่ากับ

$$P_{ave} = I_{rms}^2 R \quad (1)$$

โดยค่าความต้านทานไฟฟ้า R ขึ้นอยู่กับสมบัติของ
วัสดุ คำนวณได้ดังนี้

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2)$$

ρ คือ ค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity)
สำหรับทั้งสแตนมีค่าเท่ากับ $1.8607 \times 10^{-8} \Omega m$ ที่
อุณหภูมิ 786 K



รูปที่ 3 แบบจำลองสำหรับคำนวณหาค่าความ
ต้านทานบนแท่งหัวเชื่อม

จากรูปทรงของหัวเชื่อมสามารถแบ่งส่วนการ
วิเคราะห์ค่าความต้านทานเป็น 4 ส่วนใหญ่ ต่ออนุกรม
กัน ได้ดังแสดงในรูปที่ 3 ทำการ section view เพื่อวัด
ความสูงและพื้นที่หน้าตัดของแต่ละส่วนที่แบ่ง

ตารางที่ 3 ค่าความต้านทานแต่ละส่วนวิเคราะห์

Position	L (mm)	A(mm 2)	R $\times 10^{-6}(\Omega)$
R1	10.80	2.30	87.372
R2	0.90	2.04	8.209
R3a	0.60	1.71	6.548
R3b	0.70	1.63	7.990
R3c	0.74	1.63	8.447

CST-38

R4a	0.41	1.51	5.052
R4b	0.35	1.26	5.189
R4c	0.34	1.02	6.202
R4d	0.34	0.82	7.715
R4e	0.32	0.76	7.886
R4f	0.50	0.68	13.783
Sum	16.00	15.34	19.408

ค่าความต้านทานรวมทั้งหมดของแท่งหัวเชื่อม (สอง
เท่าของทรงสมมาตร) คำนวณได้เป็น

$$R_{\text{total}} = 2(R_1 + R_2 + R_{3\text{total}} + R_{4\text{total}})$$

$$R_{\text{total}} = 2(1.9408 \times 10^{-5} \Omega) = 3.882 \times 10^{-5} \Omega \quad (3)$$

กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนหัวเชื่อมจึงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ

$$P_{\text{ave}} = I_{\text{rms}}^2 R = (173)^2 (3.882 \times 10^{-5} \Omega)$$

$$P_{\text{ave}} = 1.16 \text{ W} \quad (4)$$

ดังนั้นเป็นปริมาณของพลังงานความร้อนเท่ากับ

$$Q = P_{\text{ave}} = 1.16 \text{ W} \quad (5)$$

บนพื้นที่ผิวของแท่งหัวเชื่อมครึ่งสมมาตร ขนาด
100.5 mm² สามารถคำนวณหาฟลักซ์ความร้อนต่อ
หน่วยพื้นที่ q ได้เป็น

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{1.16 \text{ W}}{100.5 \text{ mm}^2} = 11,542.289 \text{ W/m}^2 \quad (6)$$

ฟลักซ์ความร้อนจะไหลผ่านทุกผิวของแท่งหัว
เชื่อม ยกเว้นผิวหน้าของระนาบสมมาตรที่ปลายหัว
เชื่อมที่ ฟลักซ์ความร้อนมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากเกิด
ความสมดุลในการไหลของความร้อน ดังนั้นจึงเสมือน
ว่าไม่มีความร้อนไหลผ่านระนาบนี้

การถ่ายเทความร้อนออกจากแท่งหัวเชื่อม
อาศัยการพาความร้อนเป็นหลัก ดังนั้นจึงจำเป็น
จะต้องทราบค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน เพื่อ
นำไปคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น
ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนวิเคราะห์ได้บนพื้นฐาน
ของสภาพแวดล้อมในห้องเชื่อม ซึ่งมีความเร็วอากาศ

รอบแท่งหัวเชื่อม ซึ่งเกิดจากการฉีดแก๊สอาร์กอนคลุม
(แก๊สเฉื่อย ทำหน้าที่แทนฟลักซ์สำหรับปกคลุมแนว
เชื่อม ไม่ให้ออกซิเจนและไนโตรเจนจากบรรยากาศมา
รวมตัวกับแนวเชื่อมหรือโลหะงานขณะหลอมละลาย
แท่งหัวเชื่อมขณะทำการเชื่อม ประมาณ $v = 34.85$
km/h (9.68 m/s) [1] อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมปกติ $T_{\infty} =$
27°C = 300 K และอุณหภูมิผิวของแท่งหัวเชื่อม
 $T_s = 1000^\circ\text{C} = 1273 \text{ K}$ (เป็นอุณหภูมิที่คาดว่าจะเกิดขึ้น
โดยประมาณการจากจุดหลอมเหลวของทองแดงซึ่งมี
ค่าเท่ากับ 1083°C ซึ่งใช้ทางจรรยาบรรณที่จะถูกเชื่อม) ดังนั้น
จึงคำนวณหาอุณหภูมิฟิล์ม (Film temperature: T_f)
ซึ่งจะถูกนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน
ได้ดังนี้

$$T_f = \frac{T_s + T_{\infty}}{2} = \frac{1273 \text{ K} + 300 \text{ K}}{2} = 786.5 \text{ K} \quad (7)$$

ที่อุณหภูมิฟิล์ม 786.5 K ดังกล่าวนำไปสู่การได้ค่า
สมบัติของแก๊ส [2] ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สมบัติของแก๊สที่อุณหภูมิฟิล์ม 786.5 K

Specific Heat Capacity (c_p)	520 J/kg.K
Dynamic Viscosity (μ)	$4.6 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$
Thermal Conductivity (k)	0.016 W/m.K
Prandtl Number (Pr)	1.495
Density (ρ)	1.784 kg/m^3

เมื่อวิเคราะห์ให้เป็นลักษณะการพาความร้อนแบบ
บังคับจะได้ Reynolds number (Re_L) ดังนี้

$$Re_L = \frac{\rho V L_c}{\mu} = \frac{(1.784 \text{ kg/m}^3)(9.68 \text{ m/s})(0.016 \text{ m})}{4.6 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}}$$

$$Re_L = 6006.65 \quad (8)$$

คำนวณหาค่า Nusselt number (Nu) ได้ดังนี้

$$Nu = 0.664 Re_L^{0.5} Pr^{1/3} \quad ; Pr \geq 0.6, Re \leq 10^5$$

$$Nu = 0.664(6006.65)^{0.5} (1.495)^{1/3} = 58.84 \quad (9)$$

CST-38

จาก $Nu = h_L L_c / k$ ดังนั้นสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้จาก

$$h_L = \frac{Nuk}{L_c} = \frac{58.84(0.016 \text{ W/m.K})}{0.016 \text{ m}}$$

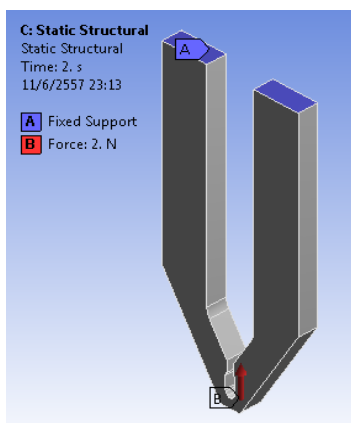
$$h_L = 209.63 \text{ W/m}^2 \text{ K} \quad (10)$$

ตารางที่ 5 สรุปค่าเงื่อนไขสำหรับการวิเคราะห์ความร้อนและความเค้น

- Electrical power	$I_{\text{rms}} = 173 \text{ A}$, $V_{\text{rms}} = 0.8 \text{ V}$
- Heat transfer coefficient	$h_L = 209.63 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
- Ambient temperature	$T_{\infty} = 27^\circ \text{C}$ (300 K)
- Applied load	2 N normal force applied at tip of the bonding electrode

2.4 การวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์

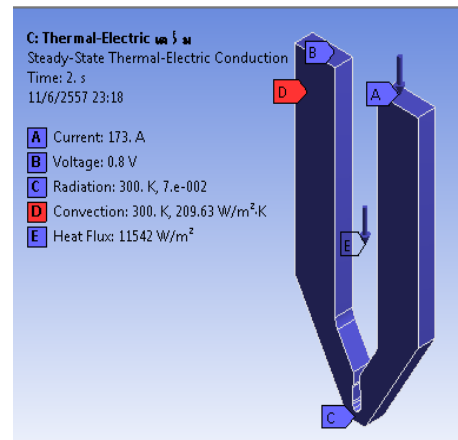
พฤติกรรมความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหัวเชื่อมในขณะที่หัวเชื่อมสัมผัสกับเส้นลวดทองแดง เมื่อมีแรงกระทำในแนวตั้ง 2 N ซึ่งการกำหนดเงื่อนไขการวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 เงื่อนไขการวิเคราะห์ความเสียหาย

การกระจายอุณหภูมิบนแท่งหัวเชื่อม ซึ่งกำหนดเงื่อนไขสำหรับการวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 5 โดยให้กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์เป็นเวลา 2 วินาที (เนื่องจากทิศการไหลของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าต้องมีทิศสวนทางกัน จึงจะทำให้เกิดควม

ต้านทานไฟฟ้า) การพาความร้อนมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเป็นตัวแปรสำคัญ



รูปที่ 5 เงื่อนไขการวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิ

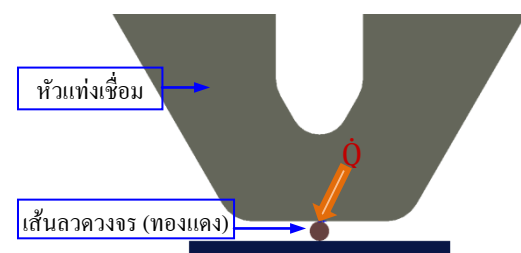
2.5 การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนกับลวดวงจร

จากค่าสมบัติของลวดวงจร ทองแดงในตารางที่ 3 ความสามารถด้านการเชื่อมเมื่อให้ความร้อนต่อเนื่องเป็นเวลา 2 วินาที สามารถประมาณหาอุณหภูมิที่ใช้ในการเชื่อมได้ โดยกำหนดอุณหภูมิของลวดวงจรที่ยังไม่ถูกเชื่อมเป็น $T_1 = 27^\circ \text{C}$ และอุณหภูมิของลวดวงจรในสถานะที่ถูกเชื่อมบนเงื่อนไข Solderability เป็น $T_2 = 390^\circ \text{C}$ ดังนั้นจึงได้ $\Delta T = T_2 - T_1 = 363^\circ \text{C}$ เมื่อความยาวของลวดทองแดง $L = 1 \text{ mm}$ (เท่ากับความกว้างของหัวเชื่อม) ลักษณะการถ่ายเทความร้อนให้กับลวดเชื่อมแสดงในรูปที่ 6 ดังนั้นจึงได้ว่า

$$A = d \times L = 0.112 \text{ mm}^2 = 0.112 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\Delta L = d = 0.112 \text{ mm} = 0.112 \times 10^{-3} \text{ m}$$

เมื่อ A เป็นพื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับทิศทางการให้ความร้อน และ ΔL เป็นความยาวในช่วงการให้ความร้อน



CST-38

รูปที่ 6 การถ่ายเทความร้อนให้กับลวดวงจร

พลังงานความร้อนคำนวณได้จากสมการการนำความร้อน

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = kA \frac{\Delta T}{\Delta L}$$

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = (390 \text{ W/mK})(0.112 \times 10^{-6} \text{ m}^2) \frac{363 \text{ K}}{0.112 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = 142 \text{ W} \quad (11)$$

ได้ค่าพลังงานเท่ากับ 142 W (หรือ 142 J ในเวลา 1 วินาที) แต่เนื่องจากรับความร้อนต่อเนื่องนาน 2 วินาที ดังนั้นจึงได้ค่าพลังงาน $142 \times 2 = 284 \text{ W}$ ซึ่งสามารถนำไปคำนวณอุณหภูมิ (ΔT) ได้จาก

$$248 \text{ W} = (390 \text{ W/mK})(0.112 \times 10^{-6} \text{ m}^2) \frac{\Delta T}{0.112 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$\Delta T = 762^\circ \text{C}$$

$$\therefore T_2 = \Delta T + T_1 = 762^\circ \text{C} + 27^\circ \text{C} = 799^\circ \text{C} \quad (12)$$

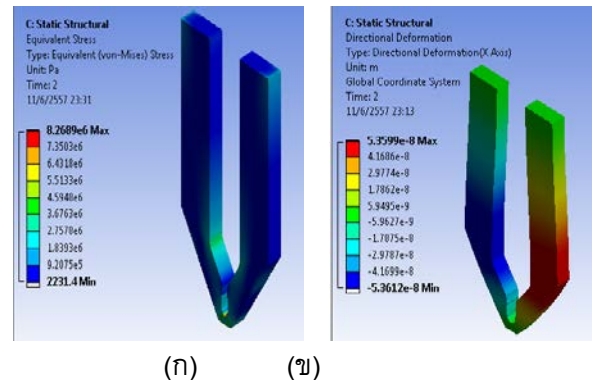
จากแบบจำลองและผลวิเคราะห์จะเห็นว่าความร้อนที่ถ่ายเทให้กับลวดวงจรทำให้ลวดวงจรมีอุณหภูมิเพิ่มเป็น 799°C ซึ่งมากกว่าค่าในสภาพ Solderability ที่ 390°C ประมาณ 2 เท่า แต่น้อยกว่าจุดหลอมเหลวที่ 1083.4°C จึงส่งผลให้ลวดวงจรเชื่อมติดกับแผ่นไมโครชิป ณ ตำแหน่งที่ต้องการเชื่อมโดยที่ยังไม่หลอมละลาย

3. ผลการจำลองด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ และวิเคราะห์ผล

3.1 ผลวิเคราะห์ความเค้น

ปลายหัวเชื่อมมีแรงกระทำขนาด 2 N เกิดจากแรงกดระหว่างหัวเชื่อมกับลวดวงจรในขณะเชื่อม เงื่อนไขสำหรับการวิเคราะห์แรงแสดงในรูปที่ 4 ขอบด้านบนของขาแท่งเชื่อมยึดแน่นอยู่กับที่ ขอบด้านล่างหรือหน้าสัมผัสมีแรงกระทำ เนื่องจากการกด ขนาด 2 N ในทิศตั้งฉากกับหน้าสัมผัส ผลวิเคราะห์ความเค้น

และลักษณะการเสียรูปของแท่งหัวเชื่อม เป็นดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ลักษณะความเค้นและการเสียรูปของแท่งเชื่อม

(ก) การกระจายความเค้น

(ข) การเสียรูปของแท่งหัวเชื่อม

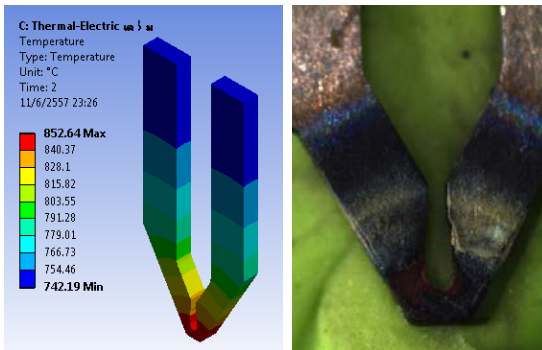
จากรูปที่ 7 จะพบว่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณปลายหัวเชื่อมซึ่งบริเวณดังกล่าวมีพื้นที่หน้าตัดน้อยที่สุดและถูกแรงกระทำอันเนื่องมาจากการกดอัดหัวเชื่อมเข้ากับลวดวงจรในขณะเชื่อม ความเค้นสูงสุดมีค่าประมาณ $8.2689 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ซึ่งน้อยกว่าค่า Yield strength ของวัสดุที่ใช้ทำแท่งหัวเชื่อมทั้งสแตน ซึ่งมีค่า $3.1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ ดังนั้นการรับแรงของแท่งหัวเชื่อมอยู่ในช่วงยืดหยุ่นที่ไม่เกิดการแตกหักเสียหาย สำหรับการเสียรูปของหัวเชื่อมในขณะรับแรงเกิดขึ้นมากที่สุดบริเวณคอโค้ง ดังนั้นแท่งหัวเชื่อมจึงไม่ก่อให้เกิดการเสียรูปอย่างถาวรเมื่อใช้งาน

3.2 การวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิ

ผลวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิตามแท่งหัวเชื่อมเมื่อให้กระแสไฟฟ้าขนาด 173 แอมแปร์ และความต่างศักย์ไฟฟ้าขนาด 0.8 โวลต์ เงื่อนไขสำหรับการวิเคราะห์แรงแสดงในรูปที่ 5 ให้กระแสไฟฟ้าที่ขอบด้านบนของขาแท่งเชื่อมข้างขวาแล้ให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าขอบด้านบนขาแท่งเชื่อมข้างซ้าย (กระแสไฟฟ้าทิศการไหลสวนทางความต่างศักย์ไฟฟ้า) เพื่อให้เกิดความต้านทานไฟฟ้า การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน เกิดขึ้นทุกพื้นผิวของแท่งหัว

CST-38

เชื่อม ซึ่งเปรียบเทียบกับหัวเชื่อมชิ้นงานจริง ได้ผลดัง
แสดงในรูปที่ 8

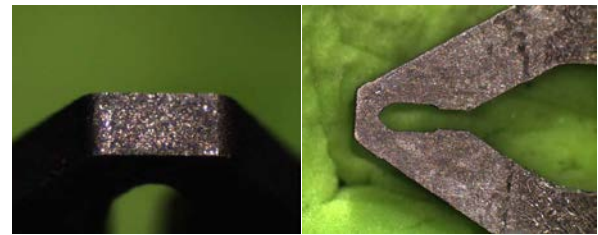


รูปที่ 8 ลักษณะการกระจายอุณหภูมิบนแท่งเชื่อม
(ก) ทำนายด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
(ข) ลักษณะการไหม้ของแท่งหัวเชื่อมที่ผ่าน
การใช้งานจริง

จากรูปที่ 8(ก) พบว่าอุณหภูมิสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณปลายหัวเชื่อม ซึ่งเป็นบริเวณที่พื้นที่หน้าตัดเล็กที่สุด ก่อให้เกิดความต้านทานไฟฟ้ามากที่สุด ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นความร้อนได้มากที่สุด จากการจำลองผลทางไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าอุณหภูมิบริเวณดังกล่าวมีค่าประมาณ 852.64°C ซึ่งมีค่าสูงกว่าสภาพ Solderability ของลวดวงจรที่ถูกเชื่อม ซึ่งมีค่า 390°C อยู่ประมาณ 462°C แต่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของลวดวงจร ซึ่งมีค่า 1083°C อยู่ประมาณ 230°C ดังนั้นการเชื่อมเกิดขึ้นได้โดยที่ลวดวงจรยังไม่เสียสภาพไปถึงการหลอมเหลว เมื่อเปรียบเทียบการกระจายความอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนแท่งเชื่อมจริง(รูปที่ 8(ข)) กับผลการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งพบว่าทั้งสองมีลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่สอดคล้องกัน

3.3 วิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นบนหัวเชื่อมจริง

เปรียบเทียบกับความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแท่งหัวเชื่อมระหว่างหัวเชื่อมที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน และหัวเชื่อมที่ถูกใช้งานมาแล้ว 2,000 ครั้ง จากภาพถ่ายแท่งหัวเชื่อมขยาย 35 เท่า



(ก)



(ข)

รูปที่ 9 ภาพถ่ายขยายแสดงความเสียหายที่เกิดขึ้น
(ก) หัวเชื่อมที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน
(ข) หัวเชื่อมที่ผ่านการใช้งานแล้ว

จากรูปที่ 9 พบว่าพื้นผิวหน้าของปลายหัวเชื่อมที่ผ่านการใช้งานแล้ว (รูปที่ 9(ข)) มีความสึกกร่อนเป็นร่องลึกตลอดหน้าตัดและเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอ ส่วนผิวหน้าปลายหัวเชื่อมที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (รูปที่ 9(ก)) มีความเรียบและสม่ำเสมอมากกว่า หน้าสัมผัสที่ไม่เรียบดังกล่าวอาจเกิดจากการกัดกร่อนจากผลของความร้อนซ้ำๆ ร่วมกับแรงกดกระแทกระหว่างหัวเชื่อมกับลวดวงจร นอกจากนี้พบว่าที่บริเวณปลายหัวเชื่อมที่ใช้งานแล้วมีคราบสีดำปกคลุมอยู่เป็นบริเวณกว้าง ขณะที่หัวเชื่อมที่ยังไม่ผ่านการใช้งานมีความสะอาดและเงากว่า คราบดังกล่าวเกิดจากเนื้อโลหะถูกเผาไหม้ด้วยความร้อนสูงและถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นออกไซด์หรือสนิม สนิมดังกล่าวส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการเชื่อมอย่างมาก ซึ่งปิดกั้นการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวหน้าของหัวเชื่อมกับลวดวงจร นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดความสกปรกต่อชิ้นงานที่เชื่อมทำให้การเชื่อมติดของลวดวงจรกับแผ่นไมโครชิปไม่ดีเท่าที่ควร

CST-38

4. สรุป

1. ผลการวิเคราะห์ความเค้น พบว่าความเค้นสูงสุดมีค่าประมาณ $8.2689 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ เกิดขึ้นที่บริเวณปลายหัวเชื่อม เป็นผลจากแรงกระทำที่เกิดจากการกดอัดของหน้าตัดปลายหัวเชื่อมกับลวดวงจรที่จะเชื่อม ค่าความเค้นดังกล่าวต่ำกว่าค่า Yield strength ที่มีค่า $3.1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ และยังอยู่ในช่วงยืดหยุ่นสมบูรณ์ ดังนั้นการกดอัดในขณะที่เชื่อมจึงไม่ก่อให้เกิดความแตกหักเสียหายแก่หัวเชื่อม และไม่ก่อให้เกิดการเสียรูปอย่างถาวร ดังนั้นรูปทรงของหัวเชื่อมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีความคงทนเพียงพอต่อการรับแรง

2. ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิ พบว่าอุณหภูมิสูงสุดมีค่าประมาณ 852.64°C เกิดขึ้นที่บริเวณปลายแท่งหัวเชื่อม ซึ่งค่าอุณหภูมิดังกล่าวมีค่าสูงกว่าสภาพ Solderability ของลวดวงจรที่ถูกเชื่อมประมาณ 462°C แต่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของลวดวงจรอยู่ประมาณ 230°C ดังนั้นการเชื่อมจึงเกิดขึ้นได้ในขณะที่ลวดวงจรเกิดความอ่อนตัว แต่ยังไม่เสียสภาพสู่การหลอมเหลว

3. ผลวิเคราะห์หัวเชื่อมจากภาพถ่ายจริงที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว ประมาณ 2000 ครั้ง เปรียบเทียบกับที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน พบว่าหัวเชื่อมที่ผ่านการใช้งานแล้วมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของปลายหัวเชื่อม มีลักษณะเป็นหลุมลึกลงไปใ้เนื้อวัสดุอย่างกระจัดกระจาย การสึกกร่อนลักษณะเช่นนี้ไม่น่าเกิดจากการกดอัดในขณะที่เชื่อม ทั้งนี้เพราะการกดอัดก่อให้เกิดแนวแรงแบบเส้น หากความเสียหายเกิดจากแรงกดจริง รูปแบบการสึกกร่อนควรมีลักษณะเป็นร่องยาวไปตามแนวของเส้นลวด นอกจากนี้หากมองในแง่วัสดุที่ใช้ทำหัวเชื่อม ทั้งสแตนเลสเป็นวัสดุที่แข็งแกร่งคงทนสูงในด้านการรับแรงกดกระแทกในรูปแบบต่างๆ ได้ดี ดังนั้น การสึกกร่อนจึงไม่น่ามีสาเหตุมาจากโครงสร้างและความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้ทำหัวเชื่อม แต่น่าจะมีสาเหตุหลักมาจากรับภาระความร้อนซ้ำๆ และการเกิดออกไซด์เป็นสำคัญ ทั้งนี้เพราะการเกิดออกไซด์เป็นสาเหตุให้เกิดการกัดกร่อนตามมาด้วยเสมอ ส่วนภาระ

ความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่รุนแรงตลอดคาบการเชื่อมมีส่วนทำให้วัสดุเกิดการสึกกร่อนได้เช่นกัน ดังนั้นอาจมีการเพิ่มความคงทนในการรับภาระอุณหภูมิสูงแก่หัวเชื่อม ซึ่งทำได้โดยการปรับปรุงวัสดุที่ใช้ทำหัวเชื่อมด้วยการเพิ่มเติมสารบางอย่างลงไป ขั้นตอนนี้ต้องดำเนินการตั้งแต่กระบวนการผลิตวัสดุที่ใช้ทำหัวเชื่อม ซึ่งต้องอาศัยการวิเคราะห์ทางด้านโลหะวิทยา ร่วมกับการทดลอง

5. เอกสารอ้างอิง

5.1 หนังสือ

- [1] Outdoor Human Comfort and its Assessment : State of the Artb (Paperback), ASCEb (American Society of Civil Engineers); 2003, page10.
- [2] Yunus A. Cengel, "Heat Transfer A Practical Approach", McGraw-Hill; 2nd Edition, 2003, page 468.

5.2 เว็บไซต์

- [1] http://www.engineeringtoolbox.com/dry-air-properties-d_973.html
- [2] http://www.rfid.or.th/webdatas/download/dl_34
- [3] <http://www.geocities.ws/kitalo17/Papers/RFID>